

明 細 書

超音波探触子、超音波撮像装置および超音波撮像方法

技術分野

- [0001] 本発明は、被検体の超音波像(例えば、診断画像)を撮像する超音波探触子、超音波撮像装置および超音波撮像方法に関する。
- [0002] 超音波撮像装置は、被検体との間で超音波探触子により超音波ビームを送受し、超音波探触子から出力される電気信号に基づき超音波像を再構成する。超音波探触子は、電気信号と超音波とを相互に変換する振動子を複数配列して形成される。
- [0003] この超音波探触子の振動子は、水晶や圧電セラミックスなどの圧電材料から形成されるのが一般的であるから、圧電材料の製造工程等に起因して各振動子の幅が比較的大きなサイズ(例えば、数ミリメートル)になる。したがって、複数の振動子の相互間隔が大きくなり、超音波像の分解能(解像力)向上に一定の制限が生じる。
- [0004] そこで、製造方法を含め振動子の配列方向の幅を小さくして分解能を向上させることが要望されている。また、撮像部位と超音波探触子との距離に応じて超音波ビームの音圧を可変できる超音波探触子の開発が要望されている。
- [0005] また、超音波像の分解能は、超音波ビームの音圧分布に起因する焦点位置のビーム幅又は径(以下、ビーム幅と総称する。)に左右される。ビーム幅は、振動子の配列方向(以下、長軸方向という。)の幅や、長軸方向に直交する方向(以下、短軸方向という。)の幅により決められる。長軸方向のビーム幅を絞るときは、ダイナミックフォーカス処理が行われる。一方、短軸方向のビーム幅を絞るために、超音波探触子の超音波射出側に音響レンズを設けることや、各振動子の大きさや形状を互いに異ならせて形成し、超音波ビームの音圧分布を調整することが行われる(例えば、特許文献1参照)
- [0006] しかし、音響レンズを設ける方法や、振動子の大きさや形状を異ならせる方法によると、超音波ビームの音圧分布が固定されるため、ビーム幅や焦点位置を撮像時に可変することができない。したがって、ビーム幅や焦点位置が異なる複数の超音波探触子を準備し、各超音波探触子を撮像部位に応じて交換しなければならないため使い勝手が悪くなる。

[0007] 本発明の目的は、超音波像の分解能を向上させつつ使い勝手がよい超音波探触子及び超音波撮像装置を実現することにある。

[0008] 特許文献1:特開平5-41899号公報

発明の開示

[0009] 本発明の超音波探触子は、駆動信号を超音波に変換して被検体に送波すると共に、被検体から発生した超音波を受波して電気信号に変換する複数の振動子を配列し、各振動子は複数の振動要素を有し、各振動要素は、駆動信号に重畳して印加される直流バイアスの大きさに応じて電気機械結合係数が変化する特性を有し、各振動要素の電極は駆動信号が供給される端子に接続されてなることを特徴とする。

[0010] すなわち、直流バイアスの大きさに応じて電気機械結合係数が変化する振動要素は、圧電素子に比べて小さく形成できる。そのため、振動要素の間隔を比較的小さくして振動子を形成することができるから、振動子を細分化することと等価となり、超音波像の分解能を向上させることができる。

[0011] 特に、各振動要素に印加する直流バイアスの大きさをそれぞれ異ならせることにより、直流バイアスの大きさに応じて各振動要素から射出される超音波の強度が違ったものになる。したがって、各振動要素に印加する直流バイアスの大きさを制御することにより、超音波ビームの強度を可変したり、あるいは所望の音圧分布を持たせることができる。その結果、必要に応じて超音波ビームのビーム幅や焦点の深度方向及び方位方向の位置をリアルタイム(例えば、超音波診断中)に調整できるため、使い勝手が向上する。

[0012] 例えば、振動要素を短軸方向に並べて振動子を形成すれば、短軸方向が振動要素により細分化されることになり、超音波像の分解能を一層向上させることができると共に、短軸方向の音圧分布を制御して短軸方向のビーム幅及び焦点深度を任意に制御できる。

[0013] この場合において、複数の振動要素を複数の組に分け、同じ組に属する各振動要素の電極を共通に接続することができる。これによれば、単一の振動要素から射出される超音波強度を考慮して、各組に属する振動要素の数を決めることにより、超音波像を撮像するのに必要な超音波強度を確保できる。

- [0014] また、複数の振動要素を短軸方向に複数の組に分け、同じ組に属する各振動要素の電極を共通に接続することができる。また、複数の振動要素を均等間隔にして振動子を形成し、振動要素の数がそれぞれ等しい複数の組に分け、同じ組に属する各振動要素の電極を共通に接続することができる。また、複数の振動要素を長軸方向に複数の組に分けてもよい。
- [0015] また、複数の振動要素を複数の組に分け、各組に属する振動要素の数を超音波口径の中心に向うにつれて組単位で多くし、同じ組に属する各振動要素の電極を共通に接続することができる。また、振動要素の電極に接続された端子は、スイッチ手段を介して電源に接続される。
- [0016] また、振動要素については、半導体化合物を含んだ材料から形成することができる。例えば、振動要素は、半導体基板と、半導体基板に載置された半導体化合物からなる枠体と、枠体の開口を塞いで設けられ半導体化合物からなる膜体と、半導体基板と膜体に接続された電極を有して構成される。
- [0017] また、本発明の超音波撮像装置は、上記の超音波探触子と、超音波探触子の各振動要素に駆動信号を供給する送信手段と、各振動要素から出力される電気信号を処理する受信手段と、受信手段から出力される信号に基づき超音波像を再構成する画像処理手段とを備え、駆動信号に重畳して直流バイアスを各振動要素に印加するバイアス手段が、振動要素の電極に端子を介して接続される構成とする。
- [0018] この場合において、バイアス手段は、直流電源と、直流電源から与えられる直流バイアスを分割する分配手段と、分配手段から出力する直流バイアスを制御指令に応じて振動要素の電極に端子を介して印加するスイッチ手段を備えることができる。
- [0019] また、複数の振動要素を複数の組に分け、組単位で大きさが異なる直流バイアスをバイアス手段により各振動要素に印加することができる。このとき、複数の振動要素を短軸方向に分けるのが望ましい。また、複数の振動要素を長軸方向に分け、組単位で大きさが異なる直流バイアスをバイアス手段により各振動要素に印加してもよい。また、超音波口径の中心に向うにつれて直流バイアスの大きさを組単位で大きくした直流バイアスをバイアス手段により各振動要素に印加することができる。また、短軸方向の中心に向うにつれて各振動要素の電気機械結合係数を大きくする直流バイアスを

バイアス手段により各振動要素に印加することができる。また、複数の振動要素を複数の組に分け、超音波探触子から撮像部位までの距離に応じて、直流バイアスを印加する振動要素をバイアス手段により組単位で選択することができる。

[0020] また、超音波撮像の開始前に、各振動要素から送波される超音波の信号強度を記憶する記憶手段と、信号強度に基づき各振動要素の電気機械結合係数を設定値に補正する指令を生成する補正制御手段を備えることができる。そして、超音波撮像を行うときは、補正指令に基づいて補正された直流バイアスをバイアス手段により各振動要素に印加することができる。

[0021] また、各振動要素から超音波を被検体に送波するときの各振動要素に印加する直流バイアスと、被検体から発生した超音波を各振動要素で受波するときの各振動要素に印加する直流バイアスとを切替えて各振動要素にバイアス手段により印加することができる。

[0022] また、複数の振動要素は複数の組に分けられ、超音波口径の中心に対して短軸方向又は長軸方向に対称に組単位で大きさに重みを付けた直流バイアスをバイアス手段により各振動要素に印加することができる。また、複数の振動要素は複数の組に分けられ、超音波口径の中心に対して短軸方向又は長軸方向に非対称に組単位で大きさに重みを付けた直流バイアスをバイアス手段により印加することによって、超音波ビームを偏向させることができる。

[0023] また、本発明の超音波撮像方法は、超音波探触子に配列された各振動子に有する複数の振動要素に直流バイアスを印加して振動要素の電気機械結合係数を設定値に変化させる工程と、直流バイアスに重畳させた駆動信号を振動要素に供給して被検体に超音波を送波する工程と、被検体から発生した超音波を振動要素により受波して電気信号に変換し、変換された電気信号に基づいて超音波像を再構成する工程を有することを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本発明を適用した第1の実施形態の超音波撮像装置の構成を示すブロック図である。

[図2]図1の超音波探触子の斜視図である。

[図3]図2の振動子の拡大斜視図である。

[図4]図3の振動要素の縦断面図である。

[図5]図4の振動要素の動作を説明する図である。

[図6]図1のバイアス手段の構成を示す図である。

[図7]図1の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。

[図8]本発明を適用した第2の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。

[図9]本発明を適用した第3の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。

[図10]本発明を適用した第4の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの長軸方向の音圧分布を示す説明図である。

[図11]本発明を適用した第5の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向および長軸方向の音圧分布を示す説明図である。

[図12]本発明を適用した第6の実施形態の補正制御手段を示す構成図である。

[図13]図12の補正制御手段による効果を示す説明図である。

発明を実施するための最良の形態

[0025] (第1の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第1の実施形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明を適用した第1の実施形態の超音波撮像装置の構成を示すブロック図である。

[0026] 図1に示すように、超音波撮像装置は、駆動信号を超音波に変換して被検体に送波すると共に、被検体から発生した超音波を受波して電気信号に変換する振動子が複数配列された超音波探触子10と、超音波探触子10に駆動信号を供給する送信手段12と、超音波探触子10に供給される駆動信号に重畳して直流バイアスを印加するバイアス手段14と、超音波探触子10から出力される電気信号(以下、反射エコー信号という。)を処理する受信手段16と、受信手段16から出力される反射エコー信号に対しデジタル整相および加算処理を施す整相加算手段18と、整相加算手段1

8から出力される反射エコー信号に基づき超音波像を再構成する画像処理手段20と、画像処理手段20から出力される超音波像を表示する表示手段22などから構成されている。また、送信手段12、バイアス手段14、受信手段16、整相加算手段18、画像処理手段20、表示手段22に制御指令を出力する制御手段24を有している。

[0027] このような超音波撮像装置は、被検体に接触させた超音波探触子10に送信手段12から駆動信号が供給される。供給された駆動信号によって超音波探触子10の各振動子から被検体に超音波が送波される。被検体から発生した超音波は超音波探触子10の各振動子により受波される。超音波探触子10から出力される反射エコー信号は、受信手段16により増幅やアナログディジタル変換などの受信処理が施される。受信処理が施された反射エコー信号は、整相加算手段18により整相加算される。整相加算された反射エコー信号は、画像処理手段20により超音波像(例えば、断層像や血流像などの診断画像)に再構成される。再構成された診断画像は、表示手段22に表示される。

[0028] 図2は、図1の超音波探触子10の斜視図である。図2に示すように、超音波探触子10は、複数の振動子26a〜26m(m:2以上の自然数)が短冊状に配設された1次元アレイ型に形成されている。ただし、振動子を2次元配列した2次元アレイ型や、振動子を扇形状に配設したコンベックス型など他の形態の超音波探触子にも本発明を適用できる。振動子26a〜26mの超音波射出面側にマッチング層30が積層して設けられている。マッチング層30の被検体側に音響レンズ32が配設されている。なお、音響レンズ32を配設しない形態でもよい。また、振動子26a〜26mの背面側にバックリング材28が重ねて設けられている。

[0029] 振動子26a〜26mは、送信手段12により供給される駆動信号を超音波に変換して被検体に超音波を送波すると共に、被検体から発生した超音波を受波して電気信号に変換する。バックリング材28は、振動子26a〜26mから背面側に射出される超音波の伝播を吸収することによって、振動子26a〜26mの余分な振動を抑制する。マッチング層30は、振動子26a〜26mと被検体との音響インピーダンスを整合することによって、超音波の伝送効率を向上させる。音響レンズ32は、被検体側に湾曲して形成されており、振動子26a〜26mから射出される超音波ビームを収束する。なお、振動

子26a〜26mの配列方向を長軸方向Xと称し、長軸方向Xに直交する方向を短軸方向Yとしている。

[0030] 図3は、図2の振動子26aの拡大斜視図である。図3に示すように、振動子26aは、複数の振動要素34-1〜34-30を有して形成されている。振動要素34-1〜34-30は、印加される直流バイアスの大きさによって電気機械結合係数、つまり送受信感度に変化する電気-音響変換素子である。

[0031] 振動要素34-1〜34-30は、長軸方向Xおよび短軸方向Yに均等間隔に並んで形成されている。ただし、不均等間隔に形成してもよい。また、振動要素34-1〜34-30は、短軸方向Yに3つの組(以下、区分という。)P1〜P3に分けられている。区分P1に属する振動要素34-1〜34-10は、電極35が共通に接続されている。区分P2に属する振動要素34-11〜34-20は、電極36が共通に接続されている。区分P3に属する振動要素34-21〜34-30は、電極37が共通に接続されている。

[0032] 図4は、図3の振動要素34-1の縦断面図である。図4に示すように、振動要素34-1は、基板40と、基板40の被検体側の面に形成された枠体42と、枠体42の開口を塞いで設けられた膜体44などから形成されている。基板40、枠体42、膜体44は、半導体化合物(例えば、シリコン化合物)を含んで形成されている。枠体42と膜体44により内部空間48が区画されている。内部空間48は、所定の真空度を有する状態、または所定のガスが充填された状態にされている。また、基板40の背面側の面に配設された電極35-1と、膜体44の被検体側の面に配設された電極35-2を有している。電極35-1は、送信手段12の駆動信号電源50に接続端子49-1を介して接続されている。電極35-2は、バイアス手段14の直流バイアス電源51に接続端子49-2を介して接続されている。

[0033] 振動要素34-1は、半導体プロセスによる微細加工によって製造される。例えば、基板40となるシリコンウェハを用意する。シリコンウェハ上に酸化膜がウェット雰囲気中で形成される。酸化膜が形成された基板に対しパターン形成、レジスト塗布などを施した後、エッチング処理を行うことにより枠体42が形成される。形成された枠体42の内部に所定のガスが充填される。枠体42上にLPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)プロセスによりニッケル(Ni)を蒸着することにより膜体44が形成さ

れる。そして、金属電極を蒸着することによって電極35-1、35-2が形成される。このような処理工程によってシリコンウェハに複数の振動要素が形成される。形成された振動要素のそれぞれは、直径が数マイクロメートル(例えば、 $10\ \mu\text{m}$)の大きさを有する。振動要素が形成されたシリコンウェハは、MEMS (Micro Electro Mechanical System) により振動子26a-26mとして複数にカットイングされる。カットイングされた振動子26a-26mは、バッキング材28に配列された後、超音波探触子10の探触子ヘッド基板に接着される。探触子ヘッド基板に駆動信号電源50、直流バイアス電源51が接続端子49-1、49-2を介して接続される。なお、マッチング層30、音響レンズ32なども振動子26a-26mに取り付けられる。

- [0034] このような振動要素34-1-34-30としては、例えば、cMut (Capative Micromachined Ultrasonic Transducer: IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr. Vol45 pp. 678-690 May 1998)を適用することができる。
- [0035] 図5は、図4の振動要素34-1の動作を説明する図である。例えば、振動要素34-1に直流バイアス電源51によって直流のバイアス電圧 V_a を印加する。印加されたバイアス電圧 V_a により振動要素34-1の内部空間48に電解が発生する。発生した電解により膜体44が緊張することによって、振動要素34-1の電気機械結合係数が S_a となる(図5A、図5B)。そして、駆動信号電源50から振動要素34-1に駆動信号を供給すると、供給された駆動信号は電気機械結合係数 S_a に基づいて超音波に変換される。また、被検体から発生した超音波を振動要素34-1によって受波すると、振動要素34-1の膜体44が電気機械結合係数 S_a に基づいて励起される。膜体44が励起されることにより内部空間48の容量が変化する。変化した容量が電気信号として取り込まれる。
- [0036] 一方、バイアス電圧 V_a に代えてバイアス電圧 V_b ($V_b > V_a$)を振動要素34-1に印加すると、印加されたバイアス電圧 V_b により膜体44の緊張度が変わることによって、振動要素34-1の電気機械結合係数が S_b ($S_b > S_a$)となる(図5A、図5C)。そして、駆動信号電源50から振動要素34-1に駆動信号を供給すると、供給された駆動信号は電気機械結合係数 S_b に基づいて超音波に変換される。
- [0037] このように振動要素34-1に印加するバイアス電圧の大きさを制御することにより、

膜体44の緊張度を変化させることができる。そして、膜体44の緊張度に起因して電気機械結合係数が変化する。したがって、バイアス電圧の大きさを制御することにより電気機械結合係数を変化させると、振動要素34-1により送受される超音波の強度（例えば、振幅の大きさ）を調整することができる。その結果、複数の振動要素34-1〜34-30により送受される各超音波の強度を調整することにより、超音波ビームの音圧分布を任意に可変することが可能になる。

[0038] 図6は、図1のバイアス手段14の構成を示す図である。バイアス手段14は、図6Aに示すように、直流バイアス電源51と、直流バイアス電源51から与えられる直流バイアスを分割する分配手段52と、分配手段52から供給される各直流バイアスを制御手段24の制御指令に応じて振動要素34-1〜34-30の電極35〜37に接続端子（例えば、接続端子35-1、35-2）を介して印加するスイッチ手段53を備えている。スイッチ手段53は、図6Bに示すように、振動子55に接続する複数のスイッチ53-1〜53-nを有している。

[0039] 図6は、説明の便宜上、振動子55が短軸方向YにA個の区分P1〜PA（A:2以上の自然数）に分けられた例を示している。なお、各区分P1〜PAに複数の振動要素が形成されている。まず、直流バイアス電源51から直流バイアスを発生させると、発生した直流バイアスは分配手段52により分割される。分割された各直流バイアスは、スイッチ手段53に供給される。一方、制御手段24に超音波の送波タイミング信号を入力することにより、入力された送波タイミング信号に基づいて制御指令が生成される。生成された制御指令がスイッチ手段53に出力される。出力された制御指令に基づいて、所定のスイッチ（例えば、スイッチ53-1）が閉じてオンされる。したがって、スイッチ手段53に供給された直流バイアスは、所定のスイッチ（例えば、スイッチ53-1）を介して振動子55の区分（例えば、区分P1）の電極に独立して印加される。

[0040] スwitch手段53は、区分P1〜PAの数に対応して設けられている。したがって、各区分P1〜PAの電極に印加する直流バイアスの大きさは、各スイッチ手段53のスイッチ53-1〜53-nを閉じる数で調整される。例えば、振動子55の短軸方向Yの端に位置する区分P1については、スイッチ53-1だけをオンすることによりバイアス電圧V_aを電極に印加する。振動子55の短軸方向Yの中心に位置する区分P（A/2）につ

いては、スイッチ53-1〜72-nの全てをオンすることによりバイアス電圧($V_a \times n$)を電極に印加する。このように各スイッチ手段53のスイッチ53-1〜72-nをオンする数を変更することにより、振動子55の各区分に印加するバイアス電圧を区分単位で異ならせることができる。

[0041] 図7は、図1の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。なお、説明の便宜上、3つの振動子26a〜26cの例を説明するが、振動子の数については適宜増やすことができる。図7に示すように、振動子26a〜26cが長軸方向Xに並べて配設されている。振動子26aは、複数の振動要素34-1〜34-30を有して形成されている。複数の振動要素34-1〜34-30は、短軸方向Yに3つの区分P1〜P3に分けられている。同じ区分(例えば、区分P1)に属する振動要素34-1〜34-10は、電極35が共通に接続されている。振動子26b、26cについても同様である。

[0042] 区分P1の電極35と区分P3の電極37にバイアス電圧V1を印加することにより、区分P1、P3に属する振動要素34-1〜34-10、34-21〜34-30の電気機械結合係数が S_a となる。一方、区分P2の電極36にバイアス電圧V2($V_2 > V_1$)を印加することにより、区分P2に属する振動要素34-11〜34-20の電気機械結合係数が S_b ($S_a > S_b$)となる。

[0043] すなわち、バイアス電圧の大きさを超音波口径の中心に向うにつれて区分単位で大きくすると、図7に示すように、振動子の電気機械結合係数は、短軸方向Yの中心部に向うにつれて区分単位で大きくなる。このような電気機械結合係数に基づいて各振動子26a〜26cから超音波が射出される。これにより、各振動要素34-1〜34-30に共通の駆動信号(例えば、振幅が等しい駆動信号)が入力されたときでも、超音波ビームの音圧分布は、図7の線図に示すように、短軸方向Yの中心部に向うにつれて大きさが大きくなる重み付け関数39として表される。要するに、各区分P1〜P3に印加する直流バイアスを区分単位で異ならせることにより、各振動子26a〜26cの電気機械結合係数の大きさが短軸方向に区分単位で重み付けられるため、超音波ビームの音圧分布が制御される。

[0044] 以上、本実施形態によれば、直流バイアスの大きさに応じて電気機械結合係数が

変化する振動要素34-1〜34-30は、例えば数マイクロメートルに形成されるため、圧電材料からなる圧電素子よりも微細なものとなる。したがって、振動要素34-1〜34-30の間隔を比較的小さくして各振動子(例えば、振動子26a)を形成することにより、振動子を細分化したものと等価となり、超音波像の分解能を向上させることができる。

[0045] 特に、各振動要素34-1〜34-30に印加する直流バイアスの大きさを区文単位あるいは振動要素単位で異ならせることにより、直流バイアスの大きさに応じて各振動要素34-1〜30から射出される超音波の強度が違ったものになる。したがって、各振動要素に印加する直流バイアスの大きさを制御することにより、超音波ビームの強度を変えたり、あるいは所望の音圧分布を持たせることができる。その結果、必要に応じて超音波ビームのビーム幅や焦点の深度方向及び方位方向の位置をリアルタイム(例えば、超音波診断中)に調整できるため、使い勝手が向上する。

[0046] 例えば、図3に示すように、振動要素34-1〜34-30を短軸方向Yに並べて振動子26aを形成することにより、短軸方向Yが振動要素34-1〜34-30によって細分化されたことと等価となり、超音波像の分解能が一層向上する。さらに、短軸方向Yの音圧分布を制御して短軸方向のビーム幅及び焦点深度を任意に制御できる。

[0047] また、図3及び図7に示すように、振動要素34-1〜34-30を複数の区分P1〜P3に分け、同じ区分(例えば、区分P1)に属する各振動要素(例えば、振動要素34-1〜34-10)の電極(例えば、電極35)を共通に接続している。これによれば、単一の振動要素(例えば、振動要素34-1)から射出される超音波強度が微弱であるときでも、各区分に属する振動要素の数を増やすことにより、超音波像を撮像するのに必要な超音波強度を確保できる。

[0048] また、単一の振動要素(例えば、振動要素34-1)から射出される超音波強度が大きいときは、区分ごとに代えて振動要素34-1〜34-30ごとに大きさが異なるバイアス電圧を印加してもよい。これにより、超音波ビームの音圧分布の調整レンジをより一層細分化できる。また、振動子26a〜26cを短軸方向Yに複数の区分P1〜P3に分けていることから、短軸方向Yの超音波ビームの音圧分布を区分単位で調整できる。

[0049] 第1の実施形態に基づいて本発明を説明したが、これに限られるものではない。例

例えば、図3及び図7の振動子は、同じ区分に属する振動要素の数が等しいが、超音波口径の中心に向うにつれて組単位で振動子の数を増やしてもよい。これにより、超音波口径の端部の影響を低減できるため、超音波像のS/Nを高めることができる。

[0050] また、図7に示す振動子26a〜26cの長軸方向Xのビーム幅及び焦点深度については、各振動子26a〜26cから出力される反射エコー信号に対し、整相加算手段18によってダイナミックフォーカスを行うことにより調整することができる。この場合において、ダイナミックフォーカス技術と伴に、あるいはその技術に代えて、各振動子(例えば、振動子26a)の長軸方向Xに振動要素34-1〜34-30を並べて形成し、各振動要素に大きさが異なる直流バイアスを印加することにより、超音波ビームの長軸方向Xのビーム幅や焦点位置を制御してもよい。また、振動要素34-1〜34-30を長軸方向Xに複数の組(区分)に分け、区分単位で大きさが異なる直流バイアスを各振動要素34-1〜34-30に印加することにより、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布を区分単位で制御することもできる。

[0051] また、本実施形態によれば、各振動要素34-1〜34-30に印加する直流バイアスの大きさを異ならせることにより、送信手段12から超音波探触子10に共通の駆動信号(例えば、同一振幅の駆動信号)を供給しても、超音波ビームの音圧分布を制御することができる。したがって、送信手段12の回路は、振幅がそれぞれ異なる駆動信号を生成する送信系回路よりも、構成が簡素になる。

[0052] また、図3に示すように、振動要素34-1〜34-30は、六角形の薄板形状に構成されている。このように六角形で構成することにより、振動要素34-1〜34-30間の隙間(ギャップ)を狭めることができる。したがって、振動要素34-1〜34-30を密集させて配列させることができる。その結果、振動要素34-1〜34-30の単位面積あたりの配列数が多くなるため、所望の超音波ビームの強度を確保できる。また、振動子26aの表面形状が曲面のときでも、その曲面に対応させて電極35〜37を湾曲させることにより、平面形状の振動要素34-1〜34-30を振動子26aに配列させることができる。ただし、振動要素34-1〜34-30の形状は、六角形に限らず、八角形などの多角形や、円形であってもよい。また、各振動要素34-1〜34-30は、直径が例えば、10 μm の大きさに形成されるが、振動子26aの表面端部に配列される振動要素だけを

小さく形成することにより、振動要素34-1〜34-30の密集度を一層高めることができる。また、図2では、複数の振動子26a〜26mにより矩形の超音波口径が形成される例を説明したが、円板状の振動子を並べて円形の超音波口径を形成する場合にも本発明を適用できる。

[0053] また、図6に示すスイッチ手段については、スイッチ53-1〜53-nの数を増やすことにより、バイアス電圧の大きさを細かく調整することができる。また、制御手段24から出力される指令を伝達する制御配線の数、振動子55の区分数Aに対応しているが、必ずしも一致させる必要はない。例えば、超音波ビームを短軸方向の中央位置を中心として対称に形成するときは、制御配線の数、区分数Aの半分にすることができる。

[0054] (第2の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第2の実施形態について図面を参照して説明する。本実施形態が第1の実施形態と異なる点は、各振動子の複数の組(区分)を更に複数のグループに分け、グループ単位で大きさが異なる直流バイアスを印加することにある。したがって、第1の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。なお、相互に対応する個所については同一の符号を付して説明する。

[0055] 図8は、本発明を適用した第2の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。図8に示すように、振動子70は、複数の振動要素を有して形成されている。複数の振動要素は、短軸方向Yに複数の区分P1〜P9に分けられている。なお、各振動要素は、図4に示したものと同様の形態に形成されている。そして、複数の区分P1〜P9は、短軸方向Yに3つのグループG11、G12、G13に分けられている。例えば、グループG11は、3つの区分P1〜P3から形成されている。

[0056] グループG11に属する区分P1〜P3と、グループG13に属する区分P7〜P9にバイアス電圧Vaを印加することにより、区分P1〜P3と、P7〜P9に属する振動要素の電気機械結合係数がSaとなる。一方、グループG12に属する区分P4〜P6にバイアス電圧Vbを印加することにより、区分P4〜P6に属する振動要素の電気機械結合係

数が S_b となる。すなわち、図8Aに示すように、振動子の電気機械結合係数は、短軸方向Yの中心部に向うにつれて短軸方向Yにグループ単位で大きくされる。このような電気機械結合係数に基づいて振動子70から超音波が射出される。これにより、各振動要素に共通の駆動信号が入力されるときでも、超音波ビームの音圧分布は、図8に示すように、短軸方向Yの中心部に向うにつれて大きさが大きくなる重み付け関数71として表されるものとなる。

[0057] また、図8に示すように、振動子70は、区分P1、P2からなるグループG21と、区分P3、P4からなるグループG22と、区分P5からなるグループG23と、区分P6、P7からなるグループG24と、区分P8、P9からなるグループG25という5つの区分に分けることもできる。

[0058] グループG21に属する区分P1、P2と、グループG25に属する区分P8、P9にバイアス電圧 V_a を印加することにより、区分P1、P2、P8、P9に属する振動要素の電気機械結合係数が S_a となる。グループG22に属する区分P3、P4と、グループG24に属する区分P6、P7にバイアス電圧 V_b を印加することにより、区分P3、P4、P6、P7に属する振動要素の電気機械結合係数が S_b となる。グループG23に属する区分P5にバイアス電圧 V_c ($V_c > V_b > V_a$)を印加することにより、区分P5に属する振動要素の電気機械結合係数が S_c となる。すなわち、図8Bに示すように、振動子の電気機械結合係数は、短軸方向Yの中心部に向うにつれて短軸方向Yにグループ単位で大きくされる。このような電気機械結合係数に基づいて振動子70から超音波を射出することにより、各振動要素に共通の駆動信号が入力されるときでも、短軸方向Yの中心部に向うにつれて大きさが大きくなる重み付け関数72として表される音圧分布を実現できる。

[0059] 本実施形態によれば、図8に示す重み付け関数71、72から分かるように、グループを構成する区分の数を変えることにより、超音波ビームの音圧分布を細かく制御することが可能になる。すなわち、グループを構成する区分の数を適宜増やしたり減らしたりすることにより、超音波ビームの音圧分布の調整レンジを細かくできる。なお、グループの分け方については、区分ごとに送波される超音波の強度などを考慮して適宜決めればよい。また、振動子70の区分をグループ化する例を説明したが、グルー

プ化することに代えて、振動要素ごとに印加するバイアス電圧 V_c の大きさを制御し、振動子の電気機械結合係数を短軸方向Yの中心部に向うにつれて大きくしてもよい。なお、本実施形態は、第1の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。

[0060] (第3の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第3の実施形態について図面を参照して説明する。本実施形態が第1及び第2の実施形態と異なる点は、焦点深度に応じて直流バイアスを印加する区分を変えることにある。したがって、第1及び第2の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。なお、相互に対応する個所については同一の符号を付して説明する。

[0061] 図9は、本発明を適用した第3の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向の音圧分布を示す説明図である。図9に示すように、複数の振動要素が形成してなる振動子73は、短軸方向Yに7つの区分P1〜P7に分けられている。また、超音波ビームの焦点位置として深度方向Zに3つの焦点A〜Cが設定されている。なお、超音波を送波する時間を $t=0$ とし、焦点A、B、Cから発生する反射エコー信号を受波する時間をそれぞれ $t=t_a$ 、 $t=t_b$ 、 $t=t_c$ とする。

[0062] 図9Bに示すように、焦点Aから発生する反射エコー信号を受波するとき($t=t_a$)、制御手段24の指令に応じて、バイアス手段14により区分P3〜P5が選択される。選択された区分P3〜P5に所定の大きさのバイアス電圧がそれぞれ印加される。また、焦点Bから発生する反射エコー信号を受波するときは($t=t_b$)、制御手段24の指令に応じて、バイアス手段14により区分P2〜P6が選択される。選択された区分P2〜P6に所定の大きさのバイアス電圧がそれぞれ印加される。さらに、焦点Cから発生する反射エコー信号を受波するときは($t=t_c$)、区分P1〜P7が選択される。選択された区分P1〜P7に所定の大きさのバイアス電圧がそれぞれ印加される。なお、バイアス電圧が印加されない区分においては、その区分に属する振動要素の電気機械結合係数は、超音波ビームのビームパターンに影響のない程に小さい。

[0063] 本実施形態によれば、焦点A〜Cから発生する反射エコー信号を受波する時間ごとに、バイアス電圧を印加する区分を変えることにより、焦点A〜Cの深度に応じて、

反射エコー信号を受波する超音波口径を可変することができる。したがって、焦点深度が浅くなるにつれて受信口径を自動的に小さくする可変口径の技術を適用した場合と等価となり、短軸方向における超音波探触子10に近い部分の方位分解能を向上させることができる。

[0064] また、焦点深度に応じて選択した区分に印加するバイアス電圧の大きさを適宜制御すれば、図9Bに示す重み付け関数74、75、76から分かるように、焦点深度に応じて超音波ビームの強度を可変したり、あるいは短軸方向Yに所望の音圧分布を持たせることができる。その結果、必要に応じて超音波ビームの短軸方向Yのビーム幅や焦点の深度方向及び方位方向の位置をリアルタイムに調整できるため、使い勝手が向上する。要するに、超音波探触子10から撮像部位までの距離に応じて、直流バイアスを印加する振動要素を区分単位で選択することにより、距離に応じた最適な超音波ビームを形成することができる。

[0065] また、焦点A〜Cから発生する反射エコー信号を受信するときの動作を中心に説明したが、振動子73から超音波を送波するときも同様に適用することができる。例えば、超音波送波ビームの焦点位置の深度に応じて振動子73の区分を選択する。そして、振動子73に駆動信号が入力されるとき、選択された区分にバイアス電圧が印加される。バイアス電圧が印加された区分から超音波が射出される。これによれば、選択する区分数を制御したり、電圧バイアスの大きさを制御したりすることにより、焦点の深度に応じて超音波送波ビームのビーム形状を最適化できる。

[0066] また、本実施形態は、第1及び第2の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。

[0067] (第4の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第4の実施形態について図面を参照して説明する。本実施形態が第1ないし第3の実施形態と異なる点は、長軸方向Xに配列する振動子ごとに大きさが異なるバイアス電圧を印加することにより、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布を制御することにある。したがって、第1ないし第3の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。なお、相互に対応する個所については同一の符号を付して説明する。

[0068] 図10は、本発明を適用した第4の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの長軸方向の音圧分布を示す説明図である。図10に示すように、複数の振動要素が形成してなる振動子26a〜26mが長軸方向Xに配列されている。各振動子26a〜26mは図4に示すものと同様である。

[0069] 本実施形態では、長軸方向Xの中心部に位置する振動子に大きさが比較的大きいバイアス電圧を印加する。また、長軸方向Xの中心部から端部に向うにつれて振動子単位で大きさが小さくされたバイアス電圧を各振動子に印加する。例えば、振動子26(m/2)は、比較的大きいバイアス電圧が印加される。振動子26a、26mは、比較的小さいバイアス電圧が印加される。これによって、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布は、図10の重み付け関数78に示すように、長軸方向Xの中心部から端部に向うにつれて強度が小さくなる。

[0070] 本実施形態によれば、長軸方向Xに配列された各振動子26a〜26mに印加するバイアス電圧の大きさを制御することにより、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布をリアルタイムに変更することができる。なお、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布を制御するに際し、ダイナミックフォーカス技術と併用することもできる。

[0071] また、本実施形態は、第1ないし第3の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。

[0072] (第5の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第5の実施形態について図面を参照して説明する。本実施形態が第1ないし第4の実施形態と異なる点は、超音波ビームの長軸方向X及び短軸方向Yの双方の音圧分布を制御することにある。したがって、第1ないし第4の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。なお、相互に対応する個所については同一の符号を付して説明する。

[0073] 図11は、本発明を適用した第5の実施形態の超音波撮像装置による超音波ビームの短軸方向および長軸方向の音圧分布を示す説明図である。図11Aに示すように、複数の振動子26a〜26mが並べて配列されている。各振動子(例えば、振動子26a)は、複数の振動要素を有している。各振動子(例えば、振動子26a)の振動要素は、

短軸方向Yに3つの区分G11、G12、G13に分けられている。なお、各振動要素は、図4に示すものと同様である。

- [0074] 本実施形態では、短軸方向Yにおいて、区分G11、G13に印加するバイアス電圧を比較的小さくし、区分G12に印加するバイアス電圧を比較的大きくする。これによって、超音波ビームの短軸方向Yの音圧分布は、図11Aに示すような重み付け関数80として表されたものとなる。同時に、長軸方向Xにおいては、中央部に位置する振動子26 ($m/2$)に印加するバイアス電圧を比較的大きくし、端部に向うにつれて振動子単位でバイアス電圧を比較的小さくする。これによって、超音波ビームの長軸方向Xの音圧分布は、図11Aに示すような重み付け関数81として表されたものとなる。
- [0075] 本実施形態によれば、図11Bに示すように、振動子26a〜26mに印加するバイアス電圧の大きさを長軸方向X及び短軸方向Yに分布を持たせることにより、超音波ビームの音圧分布を三次元的に制御することができることから、最適な音圧分布を実現することが容易になる。
- [0076] また、本実施形態は、第1ないし第4の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。
- [0077] (第6の実施形態)
- 本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第6の実施形態について図面を参照して説明する。本実施形態が第1ないし第5の実施形態と異なる点は、振動素子の製造過程などに起因する電気機械結合係数のばらつきを補正することにある。したがって、第1ないし第5の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。なお、相互に対応する個所については同一の符号を付して説明する。
- [0078] 図12は、本実施形態の補正制御手段を示す構成図である。図13は、本実施形態の効果を示す説明図である。なお、図12では、図9の振動子73を用いた一例を説明する。図12に示すように、振動子73は、送信手段12と受信手段16を有する送受信手段82に接続されている。送受信手段82は、制御手段24の指令に応じ、送信手段12と受信手段16を切り替えて振動子73に接続する送受分離スイッチ84を有している。また、振動子73の区分P1〜P7から送波される超音波の信号強度を記憶する記

憶手段(以下、RAM86-1〜86-7)が区分ごとに設けられている。そして、RAM86-1〜86-7から読み出された信号強度に基づき補正指令を生成して制御手段24に出力する補正制御手段88が備えられている。補正指令は、RAM86-1〜86-7から読み出された信号強度に基づき、各振動要素(又は区分単位、あるいはグループ単位)の電気機械結合係数を設定値に合わせる指令である。また、振動子73の区分P1〜P7に所定の大きさのバイアス電圧を印加するバイアス手段14が配設されている。なお、送信手段12の前段に、駆動信号をデジタル信号からアナログ信号に変換するデジタルアナログ変換手段90が接続されている。また、受信手段16の後段に、振動子73から出力される反射エコー信号をアナログ信号からデジタル信号に変換するアナログデジタル変換手段92が接続されている。

- [0079] 本実施形態では、超音波撮像を開始する前に、バイアス手段14により共通のバイアス電圧 $g_0(n)$ が各区分P1〜P7に属する振動要素に印加される。これによって、各区分P1〜P7に属する振動要素から超音波が送波される。送波された超音波の信号強度を区分P1〜P7ごとに測定する。測定された信号強度は、各区分P1〜P7に対応してRAM86-1〜86-7に記憶される(予備計測工程)。RAM86-1〜86-7から読み出した信号強度と、予め定められた設定値との偏差が補正制御手段88により求められる。求められた偏差に基づき、区分P1〜P7ごとの電気機械結合係数が設定値になる補正バイアス電圧が算出される。算出された補正バイアスは、補正制御手段88から制御手段24に出力される(補正工程)。出力された補正バイアス電圧に基づき、制御手段24からバイアス手段14に指令が出力される。制御手段24からの指令に応じ、バイアス手段14により補正バイアス電圧が各区分P1〜P7に印加される。
- [0080] 補正制御手段88の制御について詳細に説明する。各区分P1〜P7の電気機械結合係数を $f(n)$ とする。各区分P1〜P7に振幅が「1」の駆動信号を入力する場合、区分P1〜P7ごとに送波される超音波信号Sは、 $\alpha \times f(n)$ と表される。なお、 n は、区分の番号であり α は、所定の係数である。
- [0081] 各区分P1〜P7の電気機械結合係数が同じであれば、送波される区分P1〜P7ごとの超音波信号Sも同一となるが、各区分P1〜P7の電気機械結合係数が異なるときは(図13A)、送波される超音波信号Sも異なったものとなる。その場合、各区分P1〜

P7から送波される超音波は、各超音波信号Sの信号強度の差に起因して焦点以外の位置でも強め合うことがあるため、不要応答が生じて超音波送波ビームにアーチファクトなどが発生する場合がある。

[0082] この点、本実施形態では、補正制御手段88により、各区分P1〜P7の超音波信号を均一にする補正バイアス電圧 $g(n)$ が数1式のように算出される。

$$\text{(数1式)} \quad g(n) = g_0(n) / \{ \alpha \times f(n) \}$$

数1式から分かるように、各区分P1〜P7の超音波信号Sの大きさに応じてバイアス電圧に重みを付けることにより(図13B)、各区分P1〜P7の電気機械結合係数が均一の場合と等価に補正される(図13C)。

[0083] 本実施形態によれば、振動子に振動要素および区分P1〜P7を形成する際、振動要素又は区分の形成過程に起因して区分P1〜P7の電気機械結合係数にばらつきが生じたとき、そのばらつきに応じて、各区分P1〜P7に印加するバイアス電圧が補正される。これにより、区分P1〜P7の電気機械結合係数が均一の場合と等価となり、各区分P1〜P7から送波される超音波は、焦点位置で強めあうと共に他の位置では弱め合う結果となるため、良好な超音波ビームを形成することができる。

[0084] 本実施形態では、区分P1〜P7ごとの電気機械結合係数のばらつきに基づいて各区分P1〜P7に印加するバイアス電圧を補正する例を説明したが、振動子単位あるいは振動要素単位で補正してもよい。また、本実施形態は、第1ないし第5の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。

[0085] (第7の実施形態)

本発明を適用した超音波探触子及び超音波撮像装置の第7の実施形態について説明する。本実施形態が第6の実施形態と異なる点は、送受信系回路に起因するばらつきも補正することにある。第6の実施形態と同一の部分については説明を省略し、相違点について説明する。

[0086] 本実施形態では、図12のRAM86-1〜86-7は、第6の実施形態で説明した電気機械結合係数に、送信手段12と受信手段16と送受分離スイッチ84に起因する信号のばらつきを加味した情報を記憶する。

[0087] 例えば、送信手段12に振幅が「1」の駆動信号が入力された際の送信手段12の出

力信号を $T(n)$ とする。また、送受分離スイッチ84に振幅が「1」の駆動信号が入力された際の送受分離スイッチ84の出力信号を $TR-t(n)$ とする。この場合、各区分P1～P7から射出される超音波信号 S_T は、数2式のように表される。したがって、補正制御手段88は、各区分P1～P7に印加する補正バイアス電圧 $g_t(n)$ を数3式のように算出する。数3式から分かるように、各区分P1～P7から送波される超音波に影響を及ぼす送波系回路に起因する信号のばらつきがない場合と等価に補正される。これにより、超音波像に生じるアーチファクトを低減して超音波像のS/Nを向上させることができる。

$$(数2式) \quad S_T = T(n) \times TR-t(n) \times (\alpha \times f(n))$$

$$(数3式) \quad g_t(n) = g_0(n) / S_T$$

また、送受分離スイッチ84に振幅が「1」の反射エコー信号が入力された際の送受分離スイッチ84の出力信号を $TR-r(n)$ とする。また、受信手段16に振幅が「1」の反射エコー信号が入力された際の受信手段16の出力信号を $R(n)$ とする。この場合、受信手段16から出力される区分P1～P7ごとの反射エコー信号 S_R は、数4式のように表される。したがって、補正制御手段88は、各区分P1～P7に印加する補正バイアス電圧 $g_r(n)$ を数5式のように算出する。これにより、各区分P1～P7から出力される反射エコー信号に影響を及ぼす受波系回路に起因する信号のばらつきがない場合と等価に補正される。これにより、超音波像に生じるアーチファクトを低減して超音波像のS/Nを向上させることができる。

$$(数4式) \quad S_R = TR-r(n) \times R(n) \times (\alpha \times f(n))$$

$$(数5式) \quad g_r(n) = g_0(n) / S_R$$

本実施形態によれば、超音波ビームを送波するときはバイアス電圧 $g_t(n)$ を各区分P1～P7に印加し、超音波ビームを受波するときはバイアス電圧 $g_r(n)$ に切り替えて印加することにより、電気機械結合係数のばらつきに加えて送受分離スイッチ84と送信手段12と受信手段16の回路に起因する超音波信号のばらつきを補正することができる。したがって、超音波像に生じるアーチファクトを低減して超音波像のS/Nを向上させることができる。

[0088] 要するに、振動要素に区分P1～P7単位で直流バイアス $g_0(n)$ を印加して各区分P

1〜P7の電気機械結合係数を計測する予備計測工程と、計測された電気機械結合係数に基づいて直流バイアス $g_0(n)$ の大きさを $g_r(n)$ に補正する補正工程を有する。そして、振動要素から超音波を送波するときに振動要素に印加される直流バイアス $g_t(n)$ と、振動要素で受波するときに振動要素に印加される直流バイアス $g_r(n)$ を切り替えて印加することにより、送信系回路の信号のばらつきと受信系回路の信号のばらつきをそれぞれ補正することができる。なお、直流バイアス $g_t(n)$ の大きさは、直流バイアス $g_r(n)$ と異なってもよい。

[0089] 本実施形態では、区分P1〜P7ごとの送信系回路や受信系回路のばらつきに基づいて各区分P1〜P7に印加するバイアス電圧を補正する例を説明したが、振動子単位あるいは振動要素単位で補正してもよい。また、本実施形態は、第1ないし第5の実施形態およびその変形例と適宜組み合わせることができる。

[0090] 以上、実施形態に基づいて本発明を説明したが、これらに限られるものではない。例えば、図7は、区分P1〜P3に印加するバイアス電圧の大きさを区分単位で重みを付けることにより、超音波口径の中央位置を中心として短軸方向に対称な超音波ビームを形成する例を示すが、区分単位でバイアス電圧の大きさを制御することにより超音波ビームを偏向することもできる。要するに、複数の振動要素を短軸方向に複数の区分に分け、各振動要素に印加する直流バイアスの大きさを超音波口径の中央位置を中心として非対称に重みを組単位で付けることで超音波探触子により送受される超音波ビームを偏向することができる。なお、長軸方向についても同様である。

[0091] また、図4は、化合物半導体を含んだ材料からなる振動要素の一例を示すが、電歪材から振動要素を形成することもできる。電歪材としては、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ − PbTiO_3 系固溶体セラミックスなどの緩和型強誘電体において強誘電体への相転移温度が比較的室温付近にある磁器組成物や、その磁器板を縦横に多数の微細柱に分割し、分割間を樹脂などで充填した複合材料を用いればよい。要するに、振動要素は、印加されるバイアス電圧の大きさによって電気機械結合係数に変化する材料から形成すればよい。

請求の範囲

- [1] 駆動信号を超音波に変換して被検体に送波すると共に、前記被検体から発生した超音波を受波して電気信号に変換する複数の振動子を配列してなる超音波探触子において、
- 前記各振動子は複数の振動要素を有し、該各振動要素は、前記駆動信号に重畳して印加される直流バイアスの大きさに応じて電気機械結合係数に変化する特性を有し、前記各振動要素の電極は前記駆動信号が供給される端子に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [2] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記複数の振動要素は、複数の組に分けられ、同じ組に属する前記各振動要素の前記電極は共通に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [3] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記複数の振動要素は、短軸方向に複数の組に分けられ、同じ組に属する前記各振動要素の前記電極は共通に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [4] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記複数の振動要素は、長軸方向に複数の組に分けられ、同じ組に属する前記各振動要素の前記電極は共通に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [5] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記複数の振動要素は、均等間隔で前記振動子に形成され、該振動要素の数がそれぞれ等しい複数の組に分けられ、同じ組に属する前記各振動要素の前記電極は共通に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [6] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記複数の振動要素は、複数の組に分けられ、該分けられた各組に属する前記振動要素の数は、超音波口径の中心に向うにつれて前記組単位で多くなり、同じ組に属する前記各振動要素の前記電極は共通に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [7] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記端子は、スイッチ手段を介して電源に接続されてなることを特徴とする超音波探触子。
- [8] 請求項1に記載の超音波探触子において、前記振動要素は、半導体化合物を含む

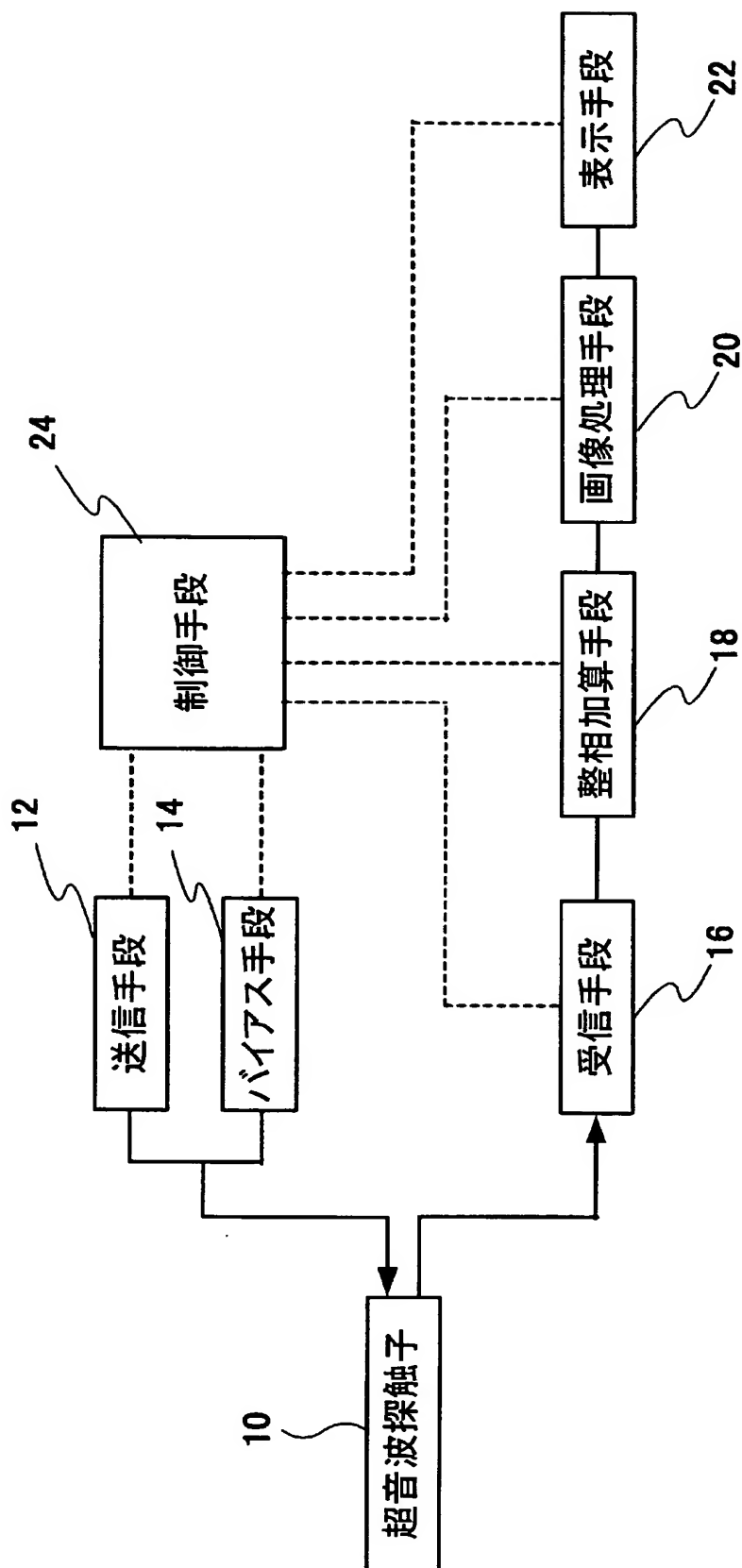
んだ材料から形成されてなることを特徴とする超音波探触子。

- [9] 請求項1に記載の超音波探触子と、該超音波探触子の前記振動要素に駆動信号を供給する送信手段と、前記振動要素から出力される電気信号を処理する受信手段と、前記受信手段から出力される信号に基づき超音波像を再構成する画像処理手段とを備え、前記駆動信号に重畳して直流バイアスを前記振動要素に印加するバイアス手段が、前記振動要素の電極に前記端子を介して接続されてなることを特徴とする超音波撮像装置。
- [10] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記バイアス手段は、直流電源と、前記直流電源から与えられる直流バイアスを分割する分配手段と、該分配手段から供給される各直流バイアスを制御指令に応じて前記振動要素の電極に前記端子を介して印加するスイッチ手段を備えてなることを特徴とする超音波撮像装置。
- [11] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、前記組単位で大きさが異なる直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [12] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は短軸方向に複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、前記組単位で大きさが異なる直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [13] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は長軸方向に複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、前記組単位で大きさが異なる直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [14] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、超音波口径の中心に向うにつれて前記組単位で大きくした直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [15] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記バイアス手段は、短軸方向の中心に向うにつれて前記各振動要素の電気機械結合係数を大きくする直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [16] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は複数の組に

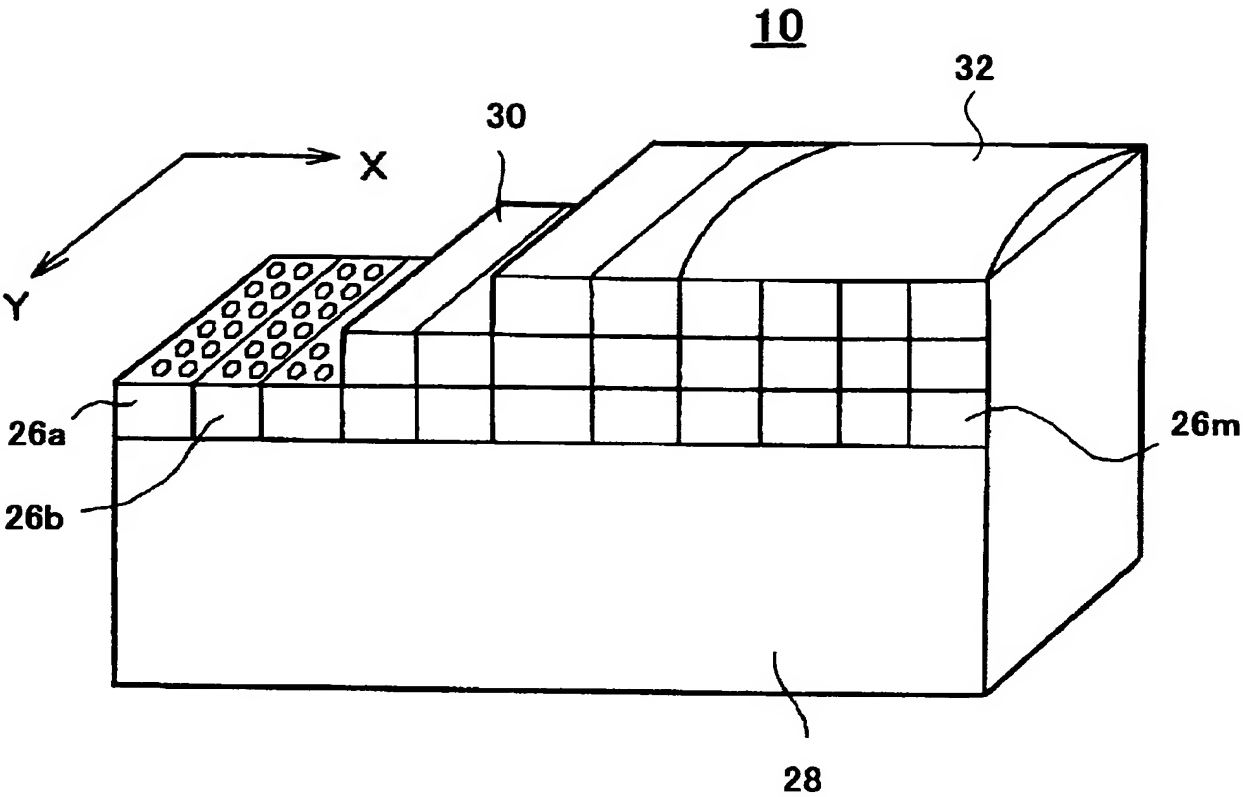
分けられ、前記バイアス手段は、前記超音波探触子から撮像部位までの距離に応じて、直流バイアスを印加する前記振動要素を前記組単位で選択することを特徴とする超音波撮像装置。

- [17] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記各振動要素から送波される超音波の信号強度を記憶する記憶手段と、前記信号強度に基づき前記各振動要素の電気機械結合係数を設定値に補正する指令を生成する補正制御手段を備え、前記バイアス手段は、前記補正指令に基づいて補正された直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [18] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記バイアス手段は、前記各振動要素から超音波を前記被検体に送波するときの前記各振動要素に印加する直流バイアスと、前記被検体から発生した超音波を前記各振動要素で受波するときの前記各振動要素に印加する直流バイアスとを切替えて前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [19] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、超音波口径の中心に対して短軸方向又は長軸方向に対称に前記組単位で大きさに重みを付けた直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [20] 請求項9に記載の超音波撮像装置において、前記複数の振動要素は複数の組に分けられ、前記バイアス手段は、超音波口径の中心に対して短軸方向又は長軸方向に非対称に前記組単位で大きさに重みを付けた直流バイアスを前記各振動要素に印加することを特徴とする超音波撮像装置。
- [21] 超音波探触子に配列された各振動子に有する複数の振動要素に直流バイアスを印加して、前記各振動要素の電気機械結合係数を設定値に変化させる工程と、
前記直流バイアスに重畳させて駆動信号を前記各振動要素に供給し、前記各振動要素から被検体に超音波を送波させる工程と、
前記被検体から発生した超音波を前記各振動要素により受波して電気信号に変換し、該変換された電気信号に基づいて超音波像を再構成する工程を有することを特徴とする超音波撮像方法。

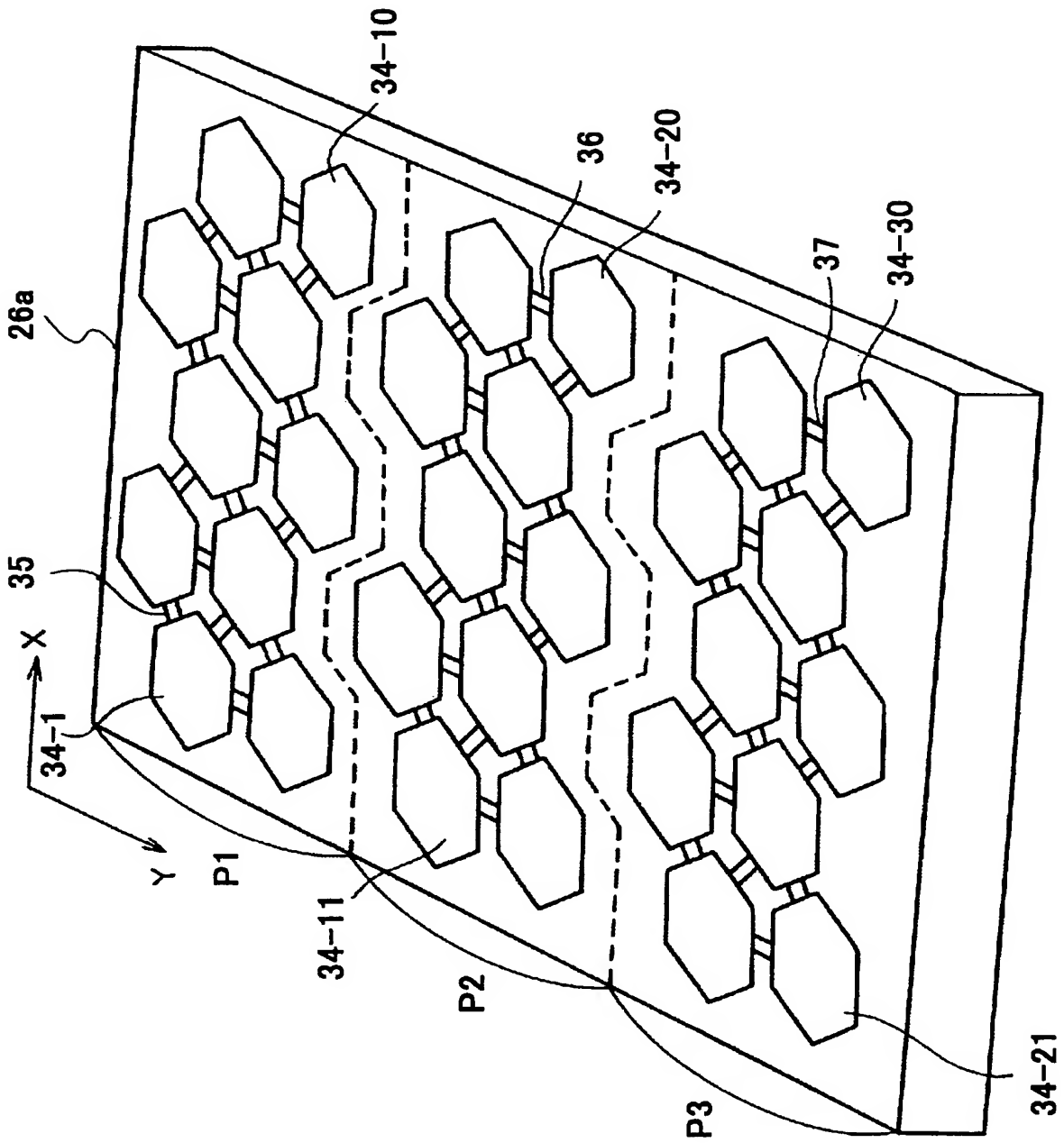
[図1]



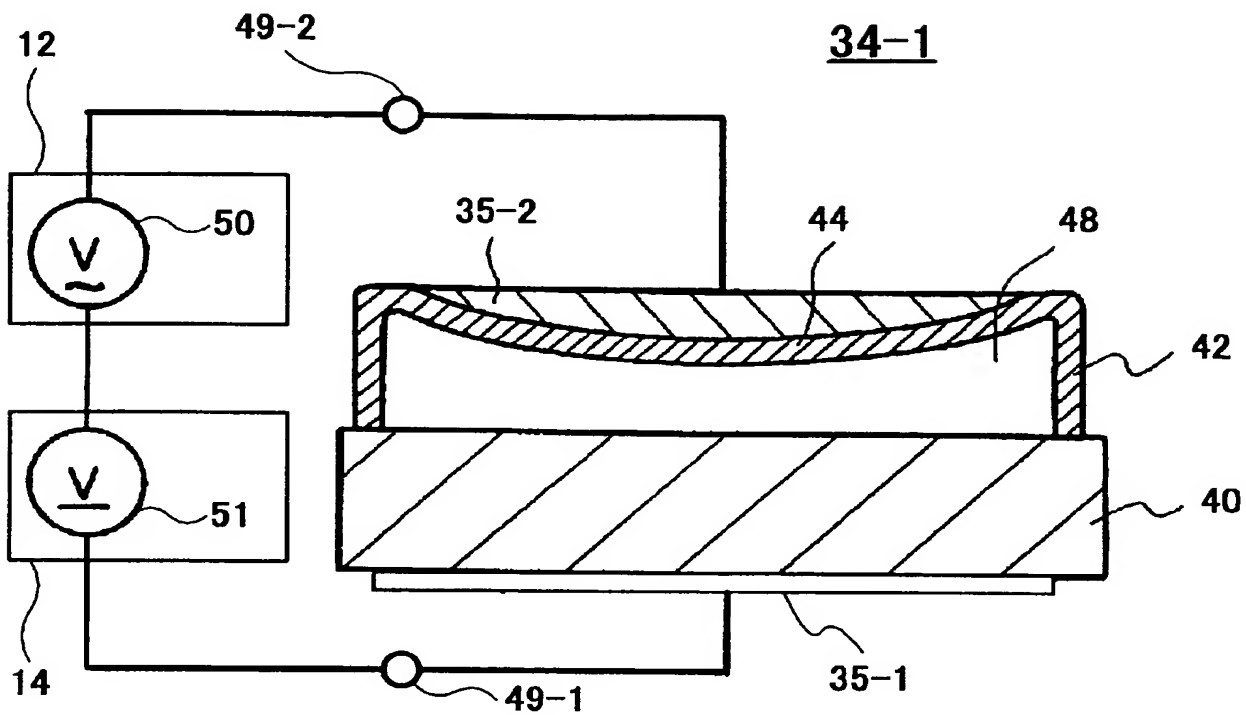
[図2]



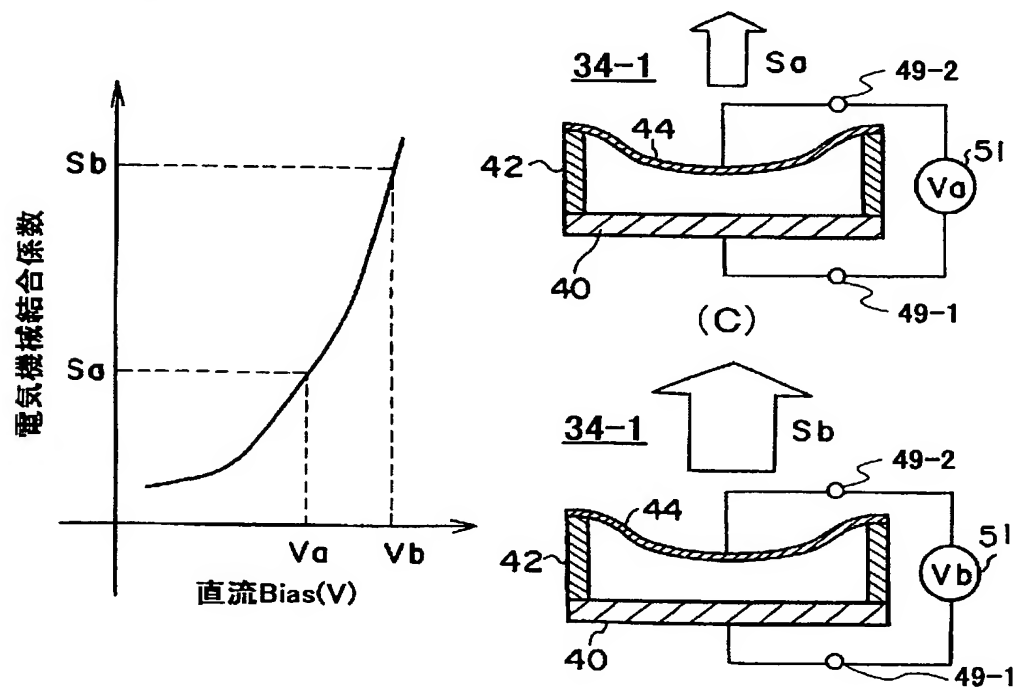
[図3]



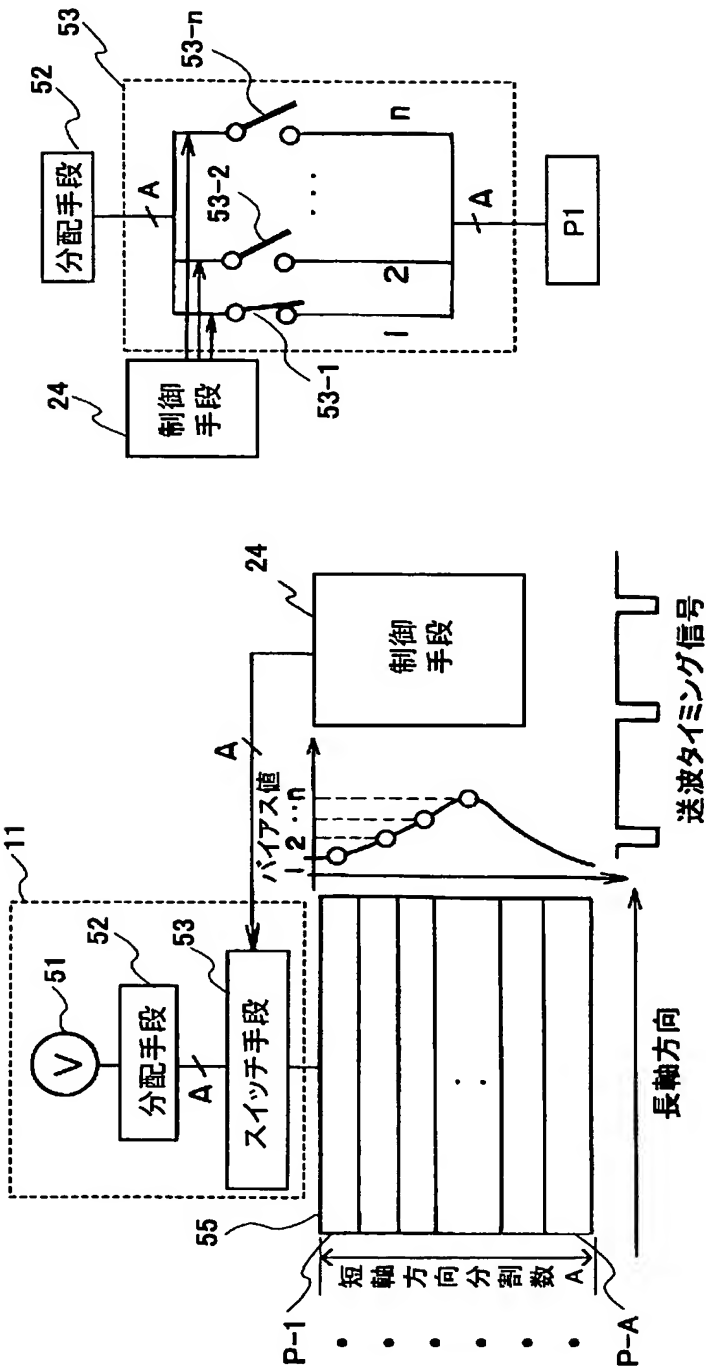
[図4]



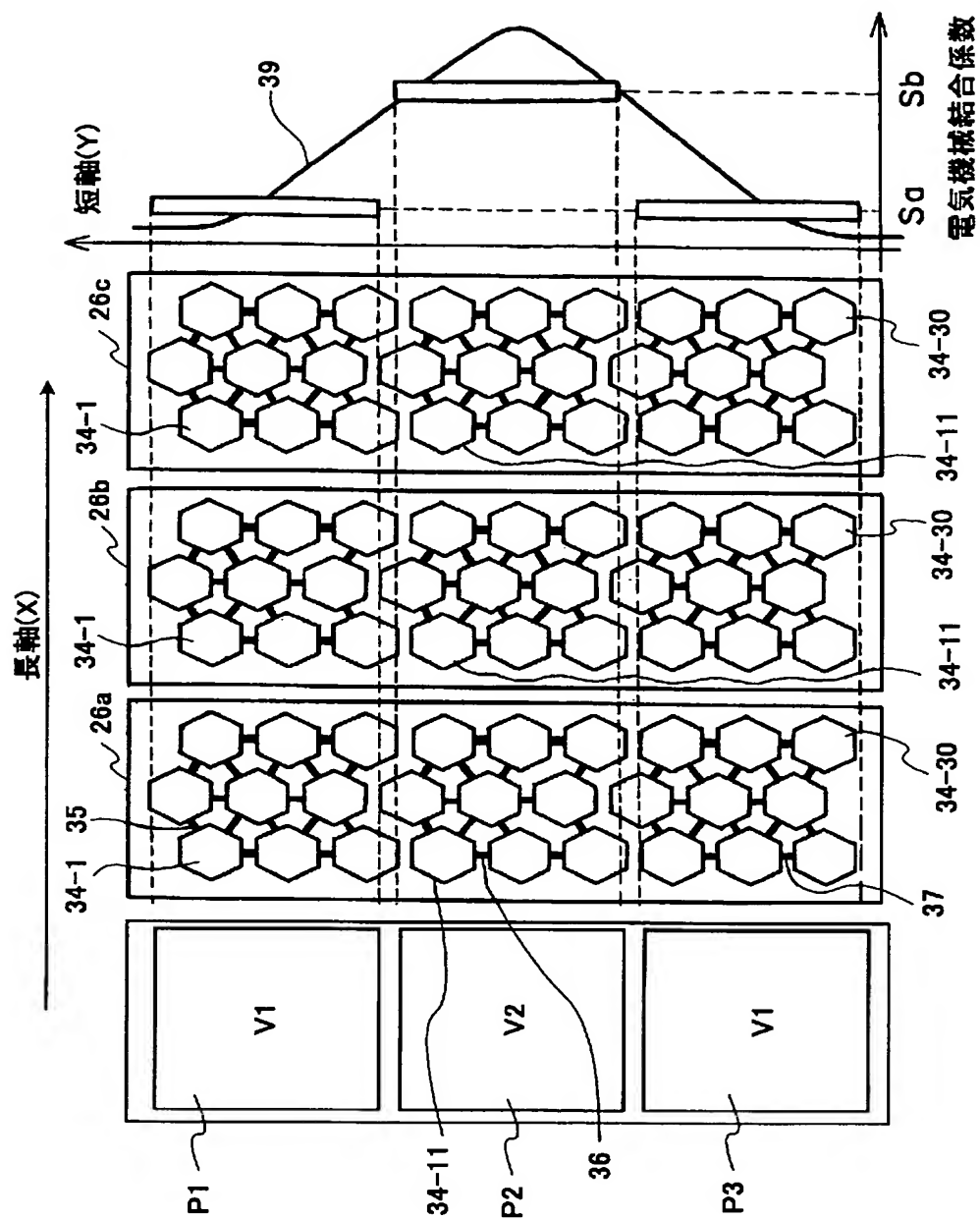
[図5]



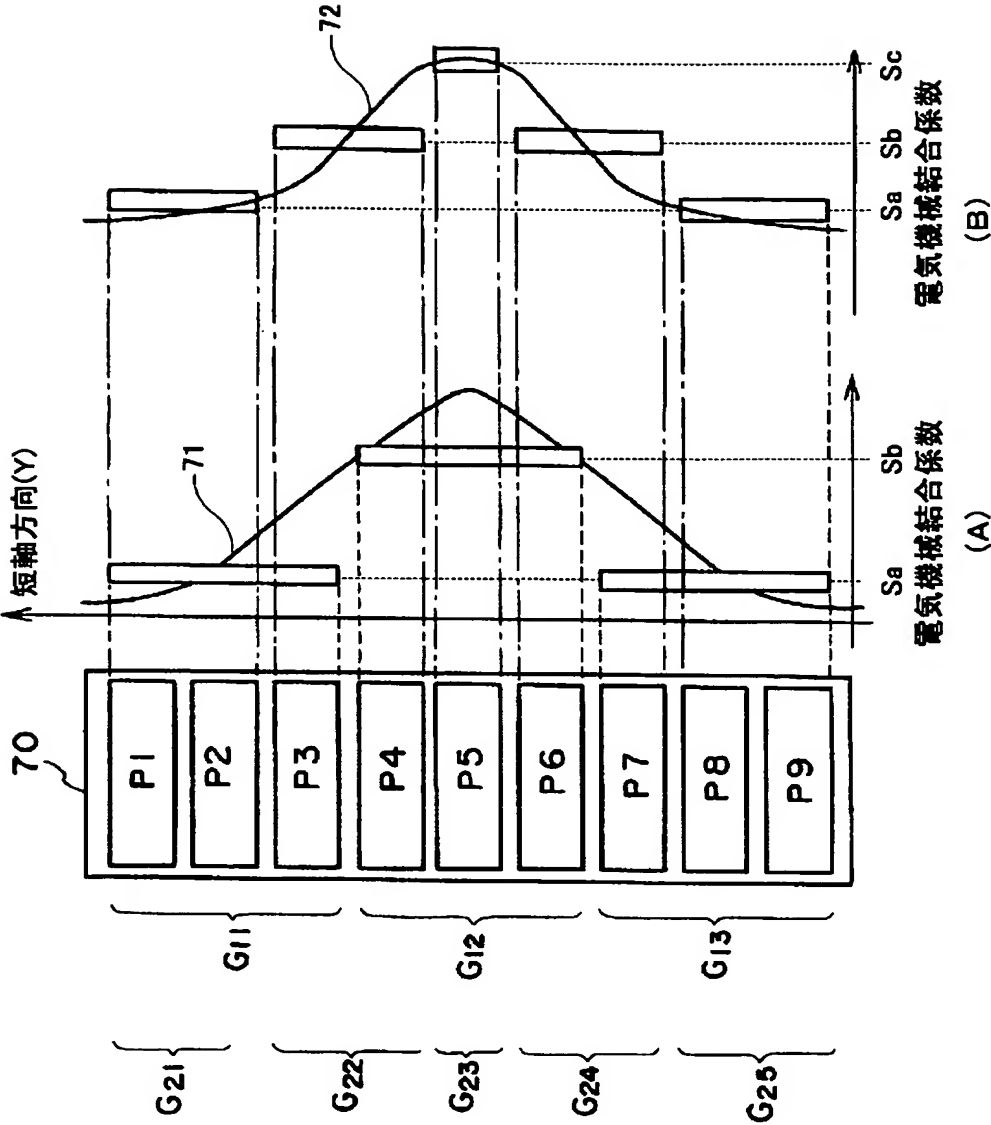
[図6]



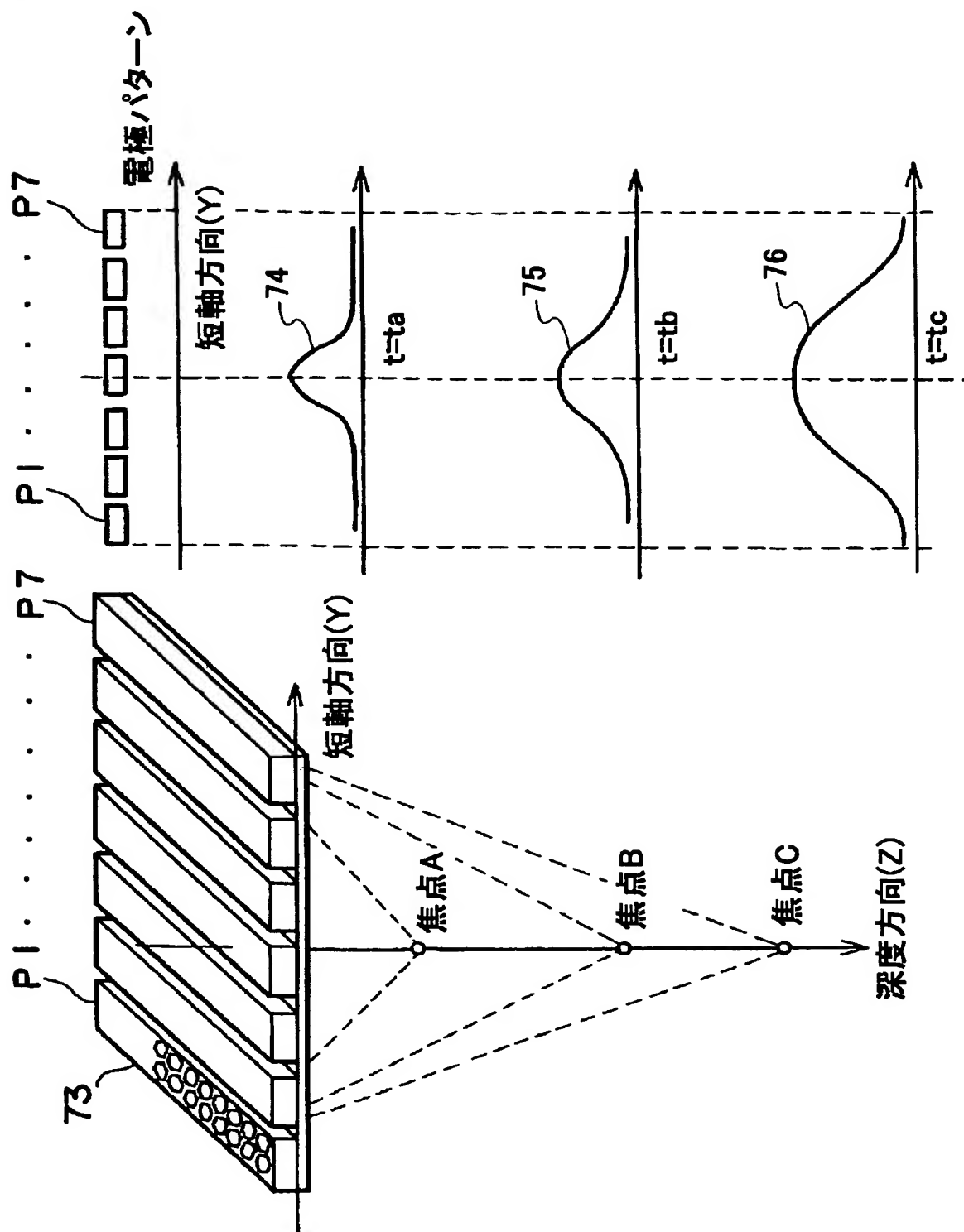
[図7]



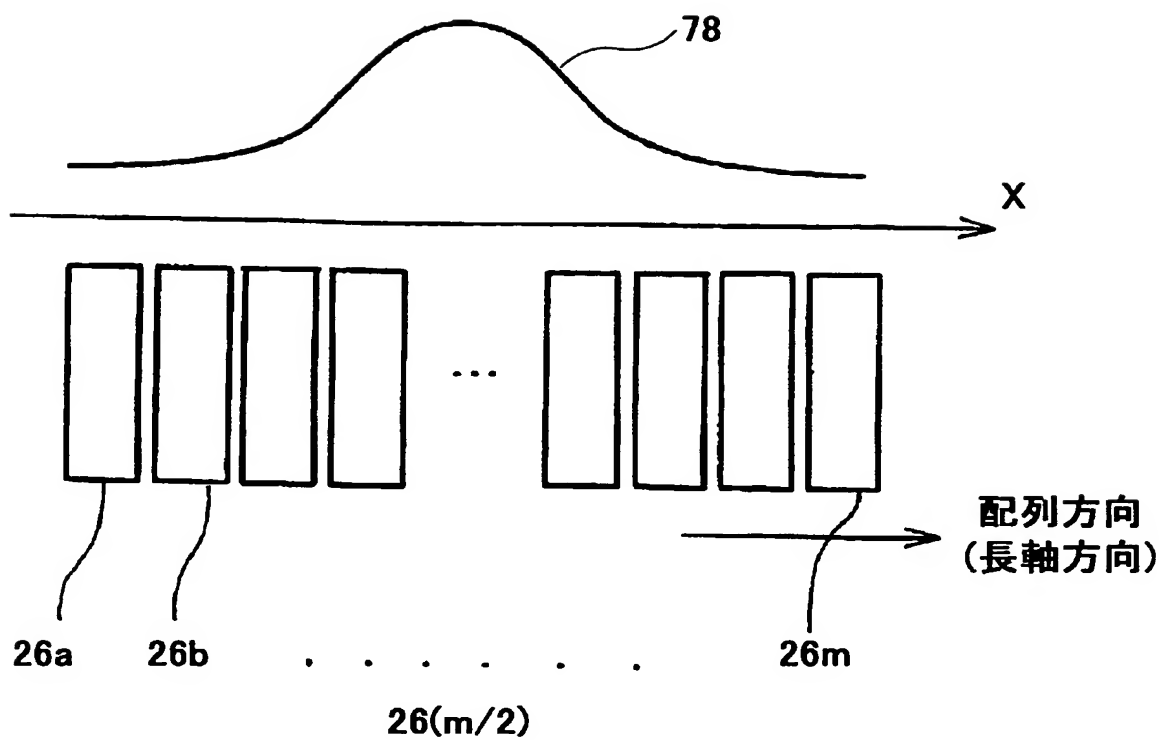
[図8]



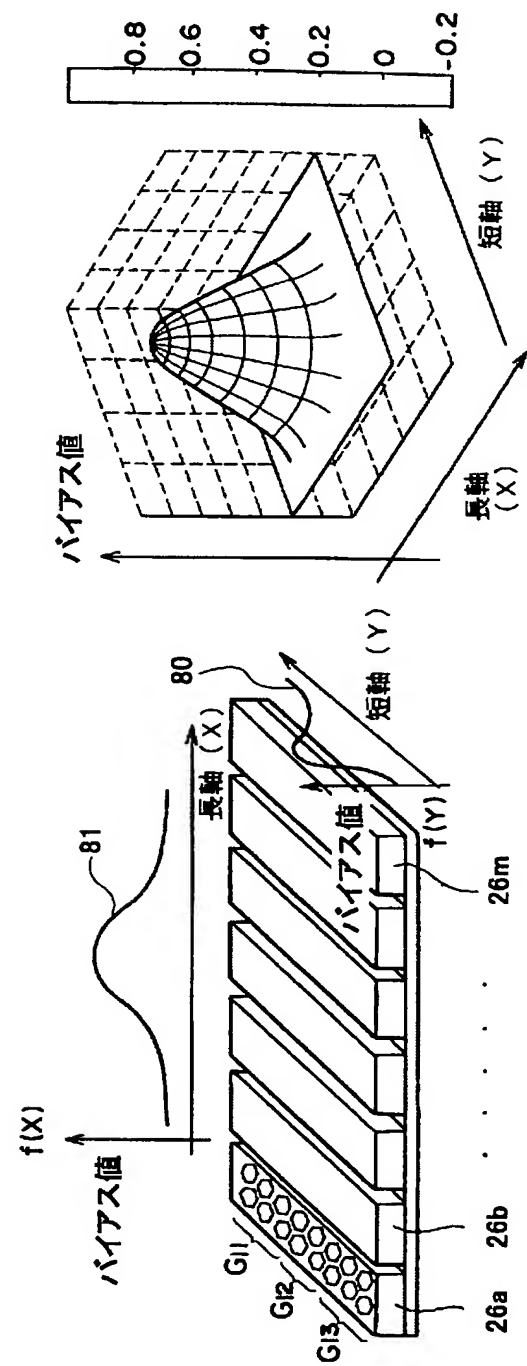
[図9]



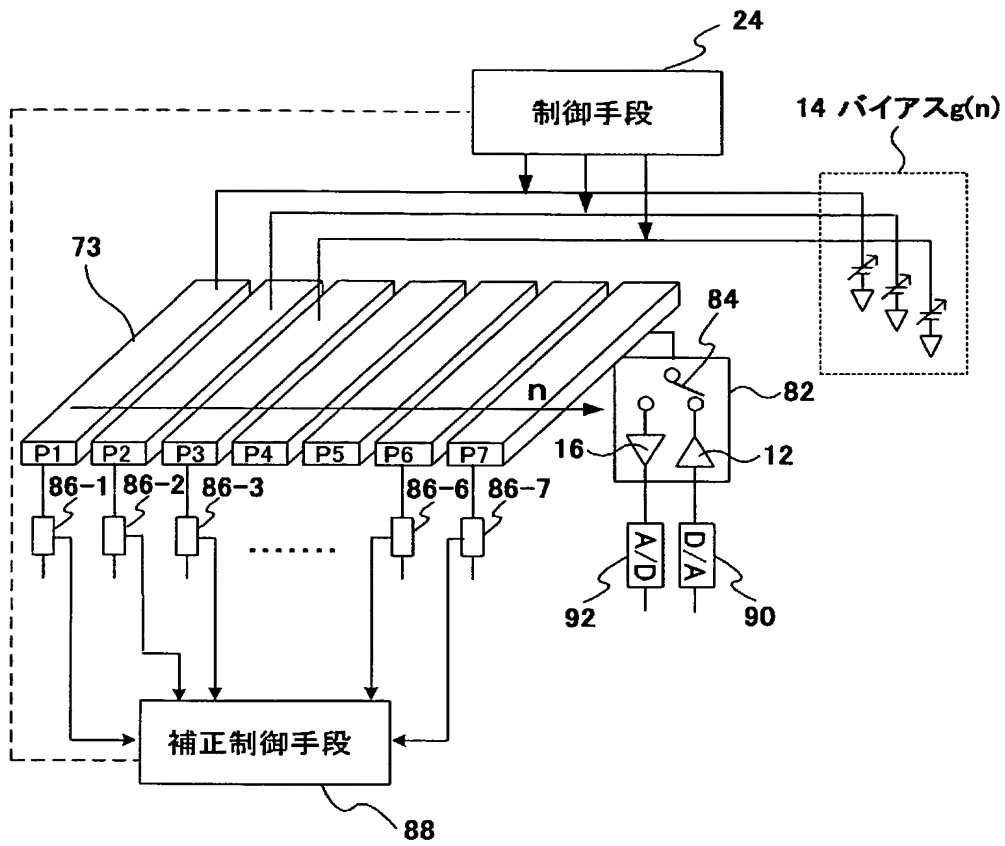
[図10]



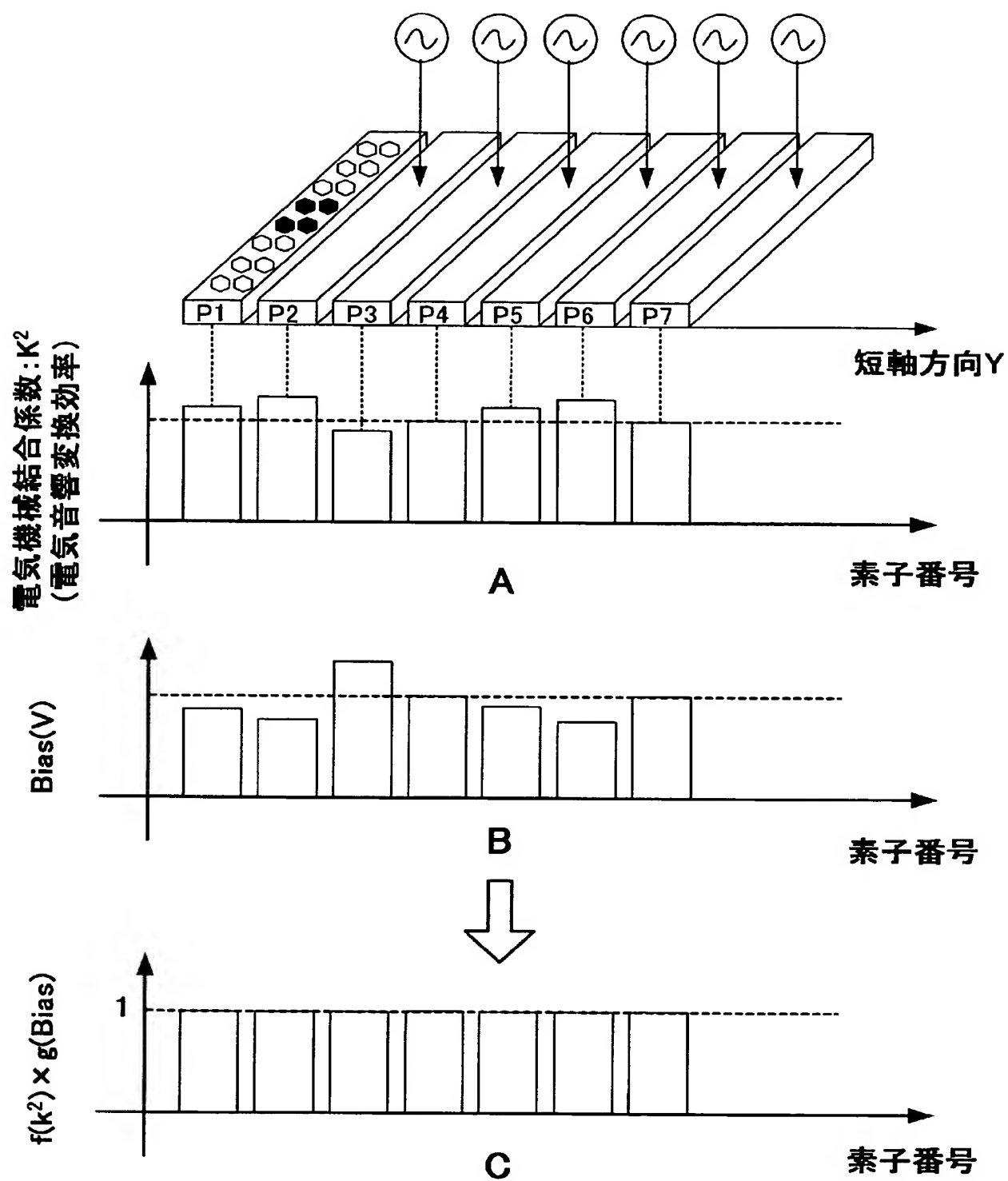
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013949

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ A61B8/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ A61B8/00-8/15

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2004 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2004 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2004 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus FILE(JOIS), Web of Science

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| X A | JP 2-94579 A (Hitachi, Ltd., Hitachi Metals, Ltd.), 05 April, 1990 (05.04.90), Full text; all drawings (Family: none) | 1-5 6 |
| X A | Hiroshi MASUZAWA et al., Electrostrictive Materials for Ultrasonic Probes in the Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ System, Japanese Journal of Applied Physics. Supplement., 30 November, 1989 (30.11.89), Vol.28, Supplement28-2, pages 101 to 104 | 1 2-6 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 December, 2004 (08.12.04)

Date of mailing of the international search report

25 January, 2005 (25.01.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013949

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | Igal Ladabaum et al., Surface Micromachined Capacitive Ultrasonic Transducers., IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1998.05, Vol.45, No.3, pages 678 to 690 | 1-6 |
| A | X.C.Jin et al., Micromachined Capacitive Ultrasonic Immersion Transducer for Medical Imaging., Proceedings of 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1998, Vol.20, No.2, pages 779 to 782 | 1-6 |
| A | JP 2001-25094 A (Tayca Corp.), 26 January, 2001 (26.01.01), Full text; all drawings (Family: none) | 1-6 |
| A | JP 2001-161000 A (Ueda Japan Radio Co., Ltd.), 12 June, 2001 (12.06.01), Full text; all drawings (Family: none) | 1-6 |
| A | JP 4-345300 A (Fujitsu Ltd.), 01 December, 1992 (01.12.92), Full text; all drawings (Family: none) | 1-6 |
| A | JP 8-66395 A (Advanced Technology Laboratories, Inc.), 12 March, 1996 (12.03.96), Full text; all drawings & US 5492134 A & EP 689187 A1 | 1-6 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013949

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 21

because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

The invention as set forth in claim 21 is deemed to be concerned with diagnostic methods to be practiced on the human body and thus relates to a subject matter which this International Searching Authority is not required, under the provisions of Article 17(2)(a)(i) of the PCT (continued to extra sheet)

2. ☐ Claims Nos.:

because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:

because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The matter common to the inventions of claims 1-20 is a matter disclosed in claim 1. However, the search has revealed that the matter disclosed in claim 1 is not novel since it is disclosed in document Hiroshi Masuzawa et al, Electrostrictive Materials for Ultrasonic Probes in the $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ System, Japanese Journal of Applied Physics. Supplement., 30 November, 1989 (30.11.89), vol. 28, Supplement 28-2, p.101-104.

Accordingly, the matter disclosed in claim 1 cannot be a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-6

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013949

Continuation of Box No.II-1 of continuation of first sheet(2)

and Rule 39.1(iv) of the Regulations under the PCT, to search.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Consequently, the inventions of claims 1-6, the invention of claim 7, the invention of claim 8, and the inventions of claims 9-20 do not satisfy the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ A61B8/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ A61B8/00-8/15

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

| | |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2004年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2004年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2004年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlusファイル (JOIS)
Web of Science

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリ* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|----------------|---|------------------|
| X A | JP 2-94579 A (株式会社日立製作所、日立金属株式会社) 1990.04.05 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-5 6 |
| X A | Hiroshi Masuzawa <i>etal</i> , Electrostrictive Materials for Ultrasonic Probes in the Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ System, Japanese Journal of Applied Physics. Supplement., 1989.11.30, vol.28, Supplement28-2, p.101-104 | 1 2-6 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリ

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.12.2004

国際調査報告の発送日

25.1.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
後藤 順也

2W 3101

電話番号 03-3581-1101 内線 3290

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| A | Igal Ladabaum <i>etal</i> , Surface Micromachined Capacitive Ultrasonic Transducers., IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1998.05, vo.45, no.3, p.678-690 | 1-6 |
| A | X.C.Jin <i>etal</i> , Micromachined Capacitive Ultrasonic Immersion Transducer for Medical Imaging., Proceedings of 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1998, vol.20, no.2, p.779-782 | 1-6 |
| A | JP 2001-25094 A (テイカ株式会社) 2001.01.26 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-6 |
| A | JP 2001-161000 A (上田日本無線株式会社) 2001.06.12 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-6 |
| A | JP 4-345300 A (富士通株式会社) 1992.12.01 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-6 |
| A | JP 8-66395 A (アドバンスト・テクノロジー・ラボラトリー・インコーポレイテッド) 1996.03.12 全文、全図 &US 5492134 A &EP 689187 A1 | 1-6 |

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☒ 請求の範囲 21 は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
請求の範囲21に記載される発明は、人の体の診断方法と認められるので、PCT第17条(2)(a)(i)及びPCT規則39.1(iv)の規定により、この国際調査機関が、調査をすることを要しない対象に係るものである。
2. ☐ 請求の範囲 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-20に記載される発明に共通する事項は、請求の範囲1に記載される事項である。しかしながら、調査の結果、請求の範囲1に記載される事項は、文献 Hiroshi Masuzawa *et al*, Electrostrictive Materials for Ultrasonic Probes in the $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ System, Japanese Journal of Applied Physics, Supplement., 1989.11.30, vol.28, Supplement28-2, p.101-104 に記載された事項であるので、新規ではないことが明らかとなった。

してみると、請求の範囲1に記載される事項は、PCT規則13.2の第2文における、特別な技術的特徴とは認められない。

よって、請求の範囲1-6に記載される発明、請求の範囲7に記載される発明、請求の範囲8に記載される発明、請求の範囲9-20に記載される発明は、発明の単一性の要件を満たさないことは明らかである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。
請求の範囲1-6

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。